

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Pat ntschrift
10 DE 196 13 388 C 2

51 Int. Cl.⁷:
F 04 D 15/00
F 04 D 29/04
A 61 M 1/00
A 61 M 1/10

21 Aktenzeichen: 196 13 388.2-15
22 Anmeldetag: 3. 4. 1996
43 Offenlegungstag: 10. 10. 1996
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 28. 2. 2002

DE 196 13 388 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität:

7-77876 03. 04. 1995 JP
7-89260 14. 04. 1995 JP

73 Patentinhaber:

NTN Corp., Osaka, JP

74 Vertreter:

Herrmann-Trentepohl und Kollegen, 81476
München

72 Erfinder:

Nakazeki, Tsugito, Iwata, Shizuoka, JP; Ito,
Hiroyoshi, Iwata, Shizuoka, JP; Akamatsu, Teruaki,
Kyoto, JP

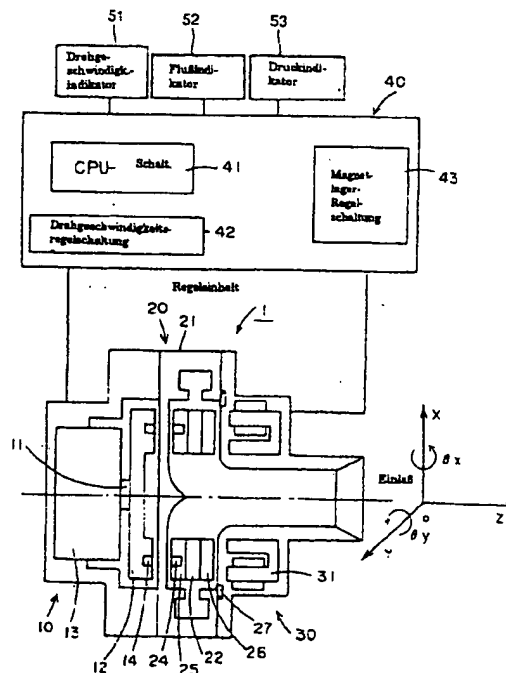
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 42 40 718 A1
DE 39 09 671 A1
US 49 44 748

JP 6-74184 A - In: Patent Abstracts of Japan,
Sect. M., Vol. 18 (1994), Nr. 325 (M-1625);

54 Magnetisch gelagerte Blutpumpe

57 Blutpumpe mit einem von einem magnetischen Lager
in einem Gehäuse (21) kontaktfrei gelagerten Flügelrad
(22), das über eine magnetische Kopplung von einem
drehzahlregelbaren Motor (13) angetrieben wird, wobei
zur Regelung des Durchflusses oder des Auslassdruckes
eine Regeleinrichtung (42) für die Motordrehzahl durch ei-
nen Prozessor-Schaltkreis (41) auf der Basis von bei un-
terschiedlichen Drehzahlen vorbestimmten Beziehungen
zwischen Durchfluss und Motorstrom sowie zwischen
Auslassdruck und Durchfluss gesteuert wird.



DE 196 13 388 C 2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine magnetisch gelagerte Blutpumpe. Genauer betrachtet, gibt die Erfindung eine magnetisch gelagerte bzw. schwebende Blutpumpe an, die den Pumpenfluß erfindungsgemäß aus dem Strom und der Drehgeschwindigkeit eines Motors zum Antrieb eines Flügelrads ermittelt.

[0002] Es gibt außerhalb des Blutpumpenbereiches Anwendungsbeispiele, bei denen ein Betriebszustand einer Pumpe fortwährend überwacht wird, so daß die Vorrichtung unter optimalen Bedingungen betrieben wird. Indikationsmittel eines Betriebszustands einer Pumpe sind die Antriebsmotoreingangsgrößen (Strom und Spannung), der Druck an einem Einlaß der Pumpe, der Ausstoß des Auslasses der Pumpe und der Pumpen(durch)fluß.

[0003] Fig. 15 und 16 zeigen Diagramme, die jeweils ein Pumpensystem darstellen, in denen Einrichtungen zum Ermitteln dieser Indikationsmittel in eine Pumpenschaltung eingesetzt sind. In Fig. 15 sind, obwohl ein Spannungswert als Steuerungswert einem Motor zum Antrieb einer Pumpe 71 zugeführt wird, der darin fließende Strom und die Drehgeschwindigkeit relativ einfach ermittelbar. Zur Messung des Druckes muß ein Differenzdruckmanometer 72 sowohl an einen Auslaß als auch an einen Einlaß einer Pumpe angeschlossen werden, und zur Bestimmung des Durchflusses muß ein Durchflußmesser 73 an den Auslaß der Pumpe 71 angeschlossen werden.

[0004] Problematisch ist jedoch, daß Meßeinrichtungen wie differentielle Druckmanometer 72 und Durchflußmesser 73 der vorstehend beschriebenen Art sehr teuer sind und daß die Anzahl der Anschlüsse von Schaltungen wie in Fig. 16 gezeigt, durch sie erhöht wird. Es wird z. B. die Gefahr einer Trombosebildung erhöht, insbesondere auch an abgestuften Abschnitten der Anschlüsse, wenn die Meßeinrichtungen nebst Anschlüssen in einer Blutpumpe verwendet werden, wie sie ein künstliches Herz darstellt. Soweit wie möglich müssen ein geringes Spiel, eine Stagnation des Blutflusses und eine Verwirbelung des Flusses in Schaltungen, die für den Bluttransport verwendet werden, vermieden werden.

[0005] Die US-4944748 zeigt eine implantierbare Blutpumpe mit einem magnetisch gelagerten Flügelrad. Das Flügelrad ist in axialer Richtung mittels eines Elektromagneten und einer Permanentmagnetanordnung magnetisch gelagert. Die Lagerung erfolgt über auf das Flügelrad wirkende abstoßende Magnetkräfte. Das Flügelrad wird direkt über einen Stator im Pumpengehäuse angetrieben. Die Blutpumpe umfaßt eine Steuerschaltung für die axiale Lagerung des Flügelrads sowie eine Motorsteuerung. Desweiteren ist ein Sensor vorgesehen, der den Flüssigkeitsdruck mißt. Die Blutpumpe weist somit zusätzliche Ermittlungseinrichtungen für den Flüssigkeitsdruck auf, wodurch die Gefahr einer Trombosebildung erhöht wird. Desweiteren werden durch den Einbau von Ermittlungseinrichtungen zusätzliche Herstellungskosten verursacht.

[0006] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine magnetisch gelagerte Blutpumpe zu schaffen, mit der es möglich ist, einen Betriebszustand der Pumpe ohne Verwendung eines Druckmessers und eines Durchflußmessers zu ermitteln, wobei ferner die Anzahl von Verbindungsabschnitten im Schaltkreis verringert werden soll, so daß bei der Anwendung in einer Blutpumpe eine Trombosebildung vermieden werden kann.

[0007] Die Erfindung erreicht dieses Ziel durch den Gegenstand des Anspruchs 1. Zusammengefaßt wird mit der vorliegenden Erfindung eine magnetisch gelagerte Blutpumpe geschaffen, die ein Flügelrad durch eine magnetische Lagerung schwebend trägt und die durch eine magnetische

Zwischenkopplung betrieben werden kann, und bei der in der Pumpe eine Korrelation zwischen dem Motorstrom und dem Durchfluß oder zwischen dem Strom und dem Druck durch einen elektronischen Schaltkreis ermittelt wird. Dabei wird die Geschwindigkeit der Drehung des Motors über einen Antriebskreis variiert, basierend auf der erhaltenen Korrelation zwischen Strom und Fluß oder zwischen Strom und Druck, wodurch eine Flußregelung oder eine Druckregelung erreichbar ist.

[0008] Mit der vorliegenden Erfindung kann eine Durchflußregelung oder eine Druckregelung ohne Verwendung eines Druckmessers oder eines Durchflußmessers erreicht werden, ganz im Gegensatz zur herkömmlichen Technik. Ferner kann die Anzahl an Anschlüssen im Durchflußweg reduziert werden, so daß eine Trombosebildung verhindert werden kann, sogar dann, wenn die Pumpe als Blutpumpe ausgelegt ist.

[0009] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird der Durchfluß oder der Druck in Abhängigkeit eines Wertes der Blutviskosität korrigiert, der aus Störungssignalerwidungen ermittelt wird, die das Flügelrad erzeugt, welches von einem magnetischen Lager getragen wird. Damit wird die Berichtigung des Durchflusses oder des Auslassdruckes in Abhängigkeit von der Blutviskosität für die Verbesserung der Genauigkeit der Durchflußermittlung genutzt.

[0010] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel kann ferner eine exzellente Sensitivität erreicht werden, indem eine Störung periodisch angelegt bzw. durchgeführt wird, um die Blutviskosität zu messen. Eine anwendbare Störungsfrequenz kann in dem Bereich ausgewählt werden, in dem die Tragesteifigkeit des magnetischen Lagers des jeweiligen Flügelrades am geringsten ist.

[0011] Bei einem weiteren besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel wird zur Messung der Blutviskosität nur die gleiche Frequenz wie sie das Störungssignal aufweist, durch einen Bandpaßfilter geleitet.

[0012] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird ein Berichtigungswert für die Geschwindigkeit der Drehung bei der Messung der Blutviskosität berücksichtigt.

[0013] Das Flügelrad kann auch zwei koaxiale Flügel und ein Gehäuse mit Einlässen, Auslässen und Pumpenkammern haben, die jeweils als Durchflußwege für die beiden Flügel dienen. Entsprechend kann das vorliegende Ausführungsbeispiel eine Pumpfunktion von zwei Pumpen mit einem einzigen Motor und einem einzigen Flügelradtragesystem erreichen.

[0014] Die Pumpenflügel können verschiedene Formen aufweisen, so daß die Pumpenkammern jeweils einen höheren Druck und einen niedrigeren Druck bei einer fixierten Drehgeschwindigkeit aufweisen.

[0015] Das Flügelrad kann auch runde Scheiben bzw. Scheiben aufweisen, welche dazu dienen, die zwei Flügel voneinander zu trennen, und die Pumpe kann eine Labyrinthdichtungsstruktur aufweisen, die so ausgebildet ist, daß sie den Raum zwischen der zirkularen Scheibe und dem Gehäuse abdichtet, wobei sich ihr Durchmesser von der Seite niedrigeren Drucks zur Seite höheren Drucks hin erhöht.

[0016] Das Flügelrad umfaßt eine ringartige runde Scheibe, die zwischen dem Gehäuse und dem Flügel angeordnet ist, und zwar auf der Seite niedrigeren Drucks, um sich koaxial mit dem Flügel zu drehen, sowie eine Eigenschmierung, die auf der Seite des inneren Durchmessers der ringartigen runden Scheibe vorgesehen ist, um in Kontakt mit dem Gehäuse zu treten, wenn die magnetische Lagerung fehlerhaft arbeitet.

[0017] Ergänzend umfaßt die magnetische Lagerung Permanentmagnete zur radialen Stützung einer Seite des Flügelrads und Elektromagnete zur Regelung der axialen Rich-

tung des Flügelrads der anderen Seite. Damit ist eine Regelung der Flügelradbewegung um zwei Achsen möglich, die jeweils rechtwinklig zur Drehachse stehen.

[0018] Die Erreichung des vorstehenden Ziel und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der Erfindung unter Bezug auf die beigelegte Zeichnung deutlicher. Es zeigt:

[0019] Fig. 1 ein Diagramm, das eine magnetisch gelagerte Blutpumpe in einer Querschnittsansicht zeigt sowie einen Regelungsschaltkreis entsprechend eines Ausführungsbeispiels der Erfindung;

[0020] Fig. 2 eine Graphik, die die Beziehung zwischen dem Auslaßfluß der magnetisch gelagerten Blutpumpe und dem Antriebsstrom eines Motors darstellt, ermittelt aus der Änderung der Drehgeschwindigkeit;

[0021] Fig. 3 eine Graphik, die Pumpendurchfluß-Druckcharakteristika für jede Drehgeschwindigkeit angibt;

[0022] Fig. 4 ein Flußdiagramm, das die Betriebsweise eines Ausführungsbeispiels der Erfindung veranschaulicht;

[0023] Fig. 5 eine Graphik, die Charakteristika der Beziehung zwischen Motorstrom und Fluß veranschaulicht, ermittelt bei einer feststehenden Drehgeschwindigkeit mit einer veränderten Viskosität;

[0024] Fig. 6 ein Blockdiagramm, das ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt;

[0025] Fig. 7 ein Blockdiagramm, das ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt;

[0026] Fig. 8 eine Graphik, die die Beziehung zwischen dem Motorantriebsstrom und dem Pumpendurchfluß veranschaulicht, gemessen mit konstanter Viskosität;

[0027] Fig. 9 eine Graphik, die die Beziehung zwischen Viskosität und Verschiebung des Flügelrads zeigt, die auftritt, wenn Störungen mit einer feststehenden Amplitude in Form einer Sinuswelle daran angelegt werden, wobei die Störungsfrequenz verändert wird;

[0028] Fig. 10 eine Graphik, die die Verschiebung des Laufrads veranschaulicht, die auftritt, wenn eine Störung von 70 Hz angelegt wird, wobei die Drehung des Flügelrads bei der Messung verändert wird;

[0029] Fig. 11a und 11b Querschnitte die ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetisch gelagerten Blutpumpe darstellen, an der die vorliegende Erfindung verwendet wird;

[0030] Fig. 12a bis 12d Querschnitte, die jeweils einen Hauptabschnitt einer Labyrinthdichtung darstellen, die bei einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0031] Fig. 13a und 13b Querschnitte, die ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetisch gelagerten Blutpumpe zeigen;

[0032] Fig. 14a und 14b Querschnitte, die noch ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetisch gelagerten Blutpumpe darstellen;

[0033] Fig. 15 ein Diagramm, das ein herkömmliches Blutpumpensystem veranschaulicht;

[0034] Fig. 16 ein Diagramm, das ein herkömmliches Pumpensystem zeigt, bei dem Trombosebildung auftritt.

[0035] Fig. 1 zeigt ein Diagramm, welches eine magnetisch gelagerte Blutpumpe in Querschnittsansicht sowie einen Regelkreis nach einem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels darstellt. In Fig. 1 wird eine magnetisch gelagerte Blutpumpe 1 durch einen Motorabschnitt 10, einen Pumpenabschnitt 20 und einen magnetischen Lagerabschnitt 30 gebildet. Ein Flügelrad 22 ist innerhalb eines Gehäuses 21 des Pumpenabschnitts 20 vorgesehen. Das Gehäuse 21 ist aus einem nicht magnetischen Teil gebildet, und das Flügelrad 22 umfaßt ein nicht magnetisches Teil 25 mit

einem Permanentmagneten 24, was eine Art passiver magnetischer Lagerung bildet sowie einen Weicheisenabschnitt 26, was dem Rotor eines geregelten Typs magnetischer Lagerung entspricht. Der Permanentmagnet 24 ist in der Umfangsrichtung des Flügelrads 22 unterteilt und die aneinanderliegenden Magneten sind in entgegengesetzten Richtungen polarisiert.

[0036] Ein von einer Welle 11 getragener Rotor 12 ist außerhalb des Gehäuses 21 angeordnet, so daß er der Seite des Permanentmagneten 24 des Flügelrads 22 gegenüberliegt. Der Rotor 12 dreht sich, wenn er von einem Motor 13 angetrieben wird. Die gleiche Anzahl von Permanentmagneten 14 wie an Permanentmagneten 24 ist auf der Seite des Flügelrads 22 vorgesehen, und zwar im Rotor 12 derart, daß sie gegenüber der Permanentmagneten 24 des Flügelrads 22 liegen und diese anziehen. Ferner sind ein Elektromagnet 31 und ein Stellungssensor (nicht dargestellt) im magnetischen Lagerabschnitt 30 angeordnet, derart, daß sie der Seite des Weicheisenteils des Flügelrads 22 gegenüberliegen und derart, daß sie die Anziehung der Permanentmagneten 24 und 14 im Gehäuse überwinden, um so das Flügelrad 22 im Zentrum des Gehäuses 21 zu halten.

[0037] In der wie vorstehend aufgebauten magnetisch gelagerten Blutpumpe stützen die Permanentmagneten 14, die in den Rotor 12 eingebettet sind, die radiale Ausrichtung und sie bewirken den Antrieb des Flügelrads 22. Ferner erzeugen sie eine axiale Anziehung zwischen dem Permanentmagneten 14 an sich und dem im Flügelrad 22 vorgesehenen Permanentmagneten 24. Einer Spule des Elektromagneten 31 zugeführter Strom bringt diese Anziehungskraft ins Gleichgewicht, derart, daß der Propeller bzw. das Flügelrad 22 schwebt. Wenn sich jetzt der Rotor 12 entsprechend der Antriebskraft des Motors 13 dreht, bewirken die Permanentmagneten 14 und 20 eine magnetische Kopplung, so daß sich das Flügelrad 22 dreht. Damit wird Flüssigkeit von einem Einflußeingang zu einem Ausflußausgang geführt (nicht dargestellt). Da das Flügelrad 22 vom Rotor 12 durch das Gehäuse 21 getrennt ist, und da das Flügelrad nicht durch den Elektromagneten 31 kontaminiert bzw. berührt wird, wird Blut, das von der magnetisch gelagerten Blutpumpe 1 abgeführt wird, sauber bzw. rein gehalten.

[0038] Eine Regelungsschaltung 40 umfaßt eine CPU (Central Processing Unit) 41, einen Drehgeschwindigkeits-Regelschaltkreis 42 und einen magnetischen Lager-Regelschaltkreis 43. Der Drehgeschwindigkeits-Regelschaltkreis 42 empfängt ein Signal von der CPU-Schaltung 41, um die Geschwindigkeit der Drehung des Motors 13 zu steuern oder zu regeln und der magnetische Lagerungs-Regelschaltkreis 43 steuert oder regelt den Elektromagneten 31 in Abhängigkeit eines Signals des Stellungssensors (nicht dargestellt). Ergänzend umfaßt die Regeleinrichtung 40 ein Indikationsmittel 51 zur Ermittlung der Drehgeschwindigkeit, ein Indikationsmittel 52 zur Ermittlung des Durchflusses und ein Indikationsmittel 53 zur Ermittlung des Drucks.

[0039] Fig. 2 zeigt eine Graphik, die die Beziehung zwischen dem Auslaßfluß der magnetisch gelagerten Art von Pumpe und dem Antriebsstrom des Motors veranschaulicht, ermittelt bei einer Änderung der Drehgeschwindigkeit. Fig. 3 zeigt für jede Drehgeschwindigkeit eine Graphik, die den Zusammenhang zwischen Pumpenausfluß und Druck veranschaulicht.

[0040] Obwohl die Charakteristika eines magnetisch gelagerten Typs von Pumpe entsprechend dem Spiel zwischen dem Gehäuse 21 und dem Flügelrad 22 sowie entsprechend der Flüssigkeitsviskosität veränderlich sind, kann der Ausflußstrom leicht aus dem Motorantriebsstrom und der Drehgeschwindigkeit, wie in Fig. 2 gezeigt, ermittelt werden. Ferner kann der Ausflußdruck aus dem Durchfluß und der

Drehgeschwindigkeit ermittelt werden, entsprechend der in Fig. 3 gezeigten Charakteristika, solange wie die Charakteristika vorab für jede Pumpe untersucht werden.

[0041] Fig. 4 zeigt ein Flußdiagramm, das die Betriebsweise des vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiels der Erfindung veranschaulicht.

[0042] Unter Bezug auf Fig. 1 bis 4 wird nun die spezifische Betriebsweise des vorliegenden Ausführungsbeispiels beschrieben. Die Drehgeschwindigkeit wird konstant ausgegeregelt, und zwar durch die Drehgeschwindigkeits-Regelschaltung 42 des Regelkreises 40. Wenn sich das Flügelrad 22 mit einer konstanten Drehgeschwindigkeit dreht, zum Beispiel mit 2200 rpm (radiations per minute) kann der Durchfluß aus der Drehgeschwindigkeit und dem Motorantriebsstrom unter Verwendung der in Fig. 2 gezeigten Charakteristika ermittelt werden. Entsprechend kann der Ausgangsdruck aus der Drehgeschwindigkeit und dem ermittelten Pumpendurchfluß anhand der Charakteristika der Fig. 3 ermittelt werden. Im vorliegenden Fall treibt der Drehgeschwindigkeits-Regelschaltkreis 42 den Motor 13 basierend auf dem Signal des CPU-Schaltkreises 41 an, derart, daß die Geschwindigkeit der Drehung des Motors 13 beispielsweise 2200 rpm beträgt. Daraufhin bewirkt der CPU-Schaltkreis 41 eine Ermittlung der Drehgeschwindigkeit des Durchflusses und des Ableitungsdrucks anhand der jeweiligen Indikatormittel 51, 52 und 53.

[0043] Weiterhin wird, um die Regelung der Pumpe im Sinne eines konstanten Ableitungsflusses zu beeinflussen, der Pumpenfluß aus der momentanen Drehgeschwindigkeit und dem momentanen Antriebsstrom ermittelt und mit einem Vorgabewert verglichen. Dabei wird die Drehgeschwindigkeit vergrößert, wenn der ermittelte Pumpendurchfluß kleiner ist als der vorgesehene momentane Durchfluß. Im entgegengesetzten Fall wird eine entsprechende Herabsetzung vorgenommen. Diese Art der Regelung heißt Rückkopplungsregelung. Ergänzend kann beim Betrieb mit einem konstanten Auslaßdruck eine Rückkopplungsregelung in Hinsicht auf den momentanen Druck ausgeführt werden.

[0044] Entsprechend dem vorliegenden Ausführungsbeispiel kann, da der Betriebszustand der Pumpe ohne Verwendung eines Druckmessers und eines Durchflußmessers ermittelbar ist, eine magnetisch gelagerte Blutpumpe mit niedrigen Kosten erstellt werden. Weiterhin kann dann, wenn die magnetisch gelagerte Blutpumpe der vorliegenden Erfindung für eine Blutpumpe eines künstlichen Herzens ausgelegt wird, die Anzahl von Verbindungen im Durchflußweg vermindert werden, so daß eine Trombosebildung vermeidbar ist.

[0045] Fig. 5 zeigt eine Graphik, die die Beziehung zwischen dem Motorantriebsstrom und dem Durchfluß zeigt, ermittelt bei einer feststehenden Drehgeschwindigkeit mit veränderlicher Viskosität. Der Durchfluß wird aus der Drehgeschwindigkeit und dem Antriebsstrom des Motors 13 entsprechend dem vorstehenden Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 ermittelt. Wie in Fig. 5 zu erkennen, kann jedoch, sogar wenn die Drehgeschwindigkeit fixiert ist, z. B. bei 2000 rpm, der Antriebsstrom zum Erreichen eines konstanten Durchflusses in Abhängigkeit der Blutviskosität unterschiedlich sein, so daß aus Änderungen der Blutviskosität Fehler resultieren können. Es ist somit vorteilhaft, ein Ausführungsbeispiel der Erfindung zu schaffen, bei dem Fluß und Druck entsprechend dem Blutviskositätswert korrigiert werden. Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel wird nachfolgend beschrieben.

[0046] Fig. 6 zeigt ein Blockdiagramm, das ein anderes Ausführungsbeispiel der Erfindung darstellt. Eine magnetisch gelagerte Art von Pumpe hat einen Regelkreis von drei

Achsen Z, θ_z und θ_y , wobei jede Regelungsachse in einem Blockdiagramm der Fig. 6 dargestellt ist. In Fig. 6 ist ein PID (Proportional, Integral und Differential) Schaltkreis 81 als Kompensationsschaltkreis zur Stabilisierung des Schwebens des Flügelrads 22 ausgelegt. Wenn ein Signal mit einer feststehenden Amplitude und einer feststehenden Frequenz zur Ausgabe des PID-Schaltkreises 81 addiert wird, wirkt eine periodische Störung auf das Laufrad 22. In Fig. 6 wird mit "CS 84" die Kraft der Flüssigkeitsviskosität angegeben. Genau betrachtet wird dann, wenn sich die Flüssigkeitsviskosität C verändert, eine Verschiebung des Flügelrads 22 bewirkt, ergänzend zur vorgegebenen Störung, so daß die Viskosität aus der Flügelradverschiebung ermittelbar ist. Dieses Verfahren ist für jede der drei Regelungsachsen durchführbar. Dabei sei angemerkt, daß mit K_{VF} 82 eine Konstante angegeben wird, die zur Umsetzung der Ausgangsspannung des PID-Schaltkreises 81 in einen Spulenstrom vorgesehen ist. Das heißt, die elektromagnetische Anziehungskraft (F) und $1/(M_S^2 - K)$ zeigen eine Umformungsfunktion eines geregelten Systems durch ein elektromagnetisches Lager.

[0047] Fig. 7 zeigt ein Blockdiagramm, das das vorstehend beschriebene, weitere Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht. In Fig. 7 umfaßt ein Regelungsschaltkreis 60 eine Motorregelschaltung 61, eine magnetische Lagerungs-Regelschaltung 62, eine CPU 63, einen Bandpaßfilter 64, einen Störungssignalerzeugungsschaltkreis 65 und einen Schalter 66. Ein Motorantriebsstromwert und ein Signal, welches die Drehgeschwindigkeit angibt, werden von der Motorregelschaltung 61 an die CPU 63 gegeben. Die CPU 63 ermittelt aus den in Fig. 2 dargestellten Charakteristika den Durchfluß, basierend auf dem Drehgeschwindigkeitssignal und dem Antriebsstromwert. Eine Schwingungsamplitude des Flügelrads wird aus dem magnetischen Lagerungs-Regelschaltkreis 62 herausgefiltert und der CPU 63 über den Bandpaßfilter 64 zugeführt. Der Bandpaßfilter 64 läßt Flügelradsschwingungssignale durch, die dieselbe Frequenz wie die Störung haben und führt sie zur CPU 63. Ergänzend wird ein Störungssignal durch den Störungssignal-Erzeugungsschaltkreis 65 generiert. Diese Störung wird dem magnetischen Lagerungs-Regelschaltkreis 62 über den Schalter 66 zugeführt. Der Schalter 66 wird entsprechend dem Störungsregelsignal der CPU 63 ein- und ausgeschaltet.

[0048] Fig. 8 zeigt eine Graphik, die die Beziehung zwischen Motorantriebsstrom und dem Pumpendurchfluß veranschaulicht, der mit feststehender Viskosität ermittelt wird. Fig. 9 zeigt eine Graphik, die die Beziehung zwischen Viskosität und Amplitude (Z) der erzeugten Laufstörungsanzeigt, wenn eine Störung (F_d) mit einer definierten Amplitude in Form einer Sinuswelle zugeführt wird, und zwar ermittelt mit veränderlicher Störungsfrequenz.

[0049] Fig. 10 zeigt eine Graphik, die die Verschiebung eines Laufrads bei einer Störung von 70 Hz anzeigt, bei veränderlicher Flügelradrotation.

[0050] Wie in Fig. 5 gezeigt, weisen der Motorstrom und der Pumpenfluß bei einer feststehenden Viskosität eine nahezu lineare Beziehung auf. Die CPU 63 ermittelt den Durchfluß aus der Drehgeschwindigkeit und dem Motorstromwert, die vom Motorregelschaltkreis 61 zugeführt werden.

[0051] Wie dagegen in Fig. 9 zu sehen ist, ist es schwierig, die Viskosität aus der Amplitude (Z) des Laufrads zu ermitteln, wie sie auftritt, wenn eine Störung (F_d) mit geringer Frequenz oder hoher Frequenz zum Laufrad geleitet werden. Es ist dagegen möglich, eine exzellente Sensitivität zu erzielen, wenn Frequenzen von ungefähr 70 Hz verwendet werden (dies wechselt entsprechend der Einstellung des Regelsystems). Bei 70 Hz ist die Flügelradtragesteifigkeit am ge-

ringsten. Genauer betrachtet ist es verständlich, daß die Flüssigkeitsviskosität unter Verwendung einer magnetischen Lagerung ermittelbar ist. CPU 63 korrigiert die Daten der Fig. 8 mittels der Differenz zwischen der Viskosität beim Betrieb, die mit der vorliegend beschriebenen Methode ermittelt wird und der Standard-Viskosität, die zum Ermitteln der Charakteristika der Fig. 8 verwendet wird, wodurch die Genauigkeit der Flußermittlung erhöhbar ist. [0052] Wenn jedoch eine Störung fortführend vom Störungssignal-Generierschaltkreis 65 zum magnetischen Lager-Regelschaltkreis 62 geführt wird, wird die Beschädigung von Bluteilchen (Haemolysis) vergrößert, so daß es wünschenswert ist, die Störsignale periodisch anzubringen. Entsprechend schaltet die CPU 63 den Schalter 66 ein und aus. Ergänzend extrahiert der Bandpaßfilter 64 die Laufradverschiebung, die dieselbe Frequenz aufweist wie die Störungen der Laufradverschiebungsausgabe des magnetischen Lager-Regelschaltkreises 62 und führt die extrahierten Laufradverschiebungen der CPU 63 zu. Weiterhin sollte, wie in Fig. 10 gezeigt, da Z/F_d sich mit der Erhöhung der Geschwindigkeit des Laufrads reduzieren, die Drehgeschwindigkeit dazu verwendet werden, die Genauigkeit der Kompensation zu erhöhen.

[0053] Mit der vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Arbeitsweise und dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel kann durch die Berichtigung der jeweiligen Blutviskosität die Genauigkeit der Durchflußermittlung erhöht werden.

[0054] Fig. 11a und 11b zeigen Querschnittsansichten, die ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetisch gelagerten Blutpumpe darstellen, welches erfindungsgemäß ausgelegt ist, wobei Fig. 11a eine lange Schnittansicht der Pumpe darstellt und Fig. 11b eine Querschnittsansicht entlang der Linie A-A aus Fig. 11a darstellt. In Fig. 11a wird ein Flügelrad 22 aus runden Scheiben 221, 222 und 223 sowie Flügeln 224 und 225 mit verschiedenen Durchmessern gebildet, die jeweils zwischen den runden Scheiben angeordnet sind. Jeder der Flügel 224 und 225 ist spiralförmig ausgebildet wie in Fig. 11b dargestellt. Permanentmagneten 24 und 14 sind jeweils in eine zirkuläre Scheibe 221 und einen Rotor 12, der gegenüberliegend der zirkulären Scheibe 221 angeordnet ist, eingebettet. Die Permanentmagneten 24 und 14 bewirken eine magnetische Kopplung.

[0055] Das Laufrad 22 wird passiv durch diese magnetische Kopplung getragen. Auf der Seite der ringförmigen Scheibe 223 ist ein Elektromagnet 31 als geregelte magnetische Lagerung vorgesehen. Die axiale Richtung des Flügelrads 22, θ_x und θ_y werden aktiv vom Elektromagneten 31 getragen. Bei einem Antrieb des Motors 13 wird der Rotor 12 gedreht, so daß er Antriebskraft auf das Laufrad 22 mittels magnetischer Kopplung überträgt.

[0056] Ergänzend ist ein Einlaß 15 vorgesehen, derart, daß er sich durch das Zentrum des Motors 13 erstreckt, wobei dieser Einlaß 15 mit einem Auslaß 233 über eine Pumpenkammer 331 in Verbindung steht, wo sich der Flügel 224 dreht. Ein Einlaß 16 ist ferner vorgesehen, derart, daß er sich durch das Zentrum des Elektromagneten 31 erstreckt, wobei dieser Einlaß 16 mit einem Auslaß 234 über eine Pumpenkammer 232 in Verbindung steht, wo sich der Flügel 225 dreht.

[0057] Bei der in Fig. 11a gezeigten magnetisch gelagerten Pumpe wird dann, wenn sich das Laufrad 22 dreht, vom Flügel 224 Blut gefördert, das vom gesamten Körper vom Einlaß 15 zugeführt wird, wobei das Blut durch eine Pumpenkammer 231 vom Auslaß 223 in die Lunge geleitet wird. Entsprechend wird vom Flügel 225 von den Lungen zurückkehrendes Blut vom Einlaß 16 abgezogen und es wird das Blut durch die Pumpenkammer 232 von einem Auslaß 234

in den gesamten Körper zurückbefördert. Der für den Körper erforderliche Blutfluß wird durch Regelung der Drehung der Geschwindigkeit der Drehung des Motors 13 mittels des Regelungsschaltkreises 40, wie in Fig. 1 dargestellt, erreicht. Da ein zweiwegiger Flußlauf in der in Fig. 11a und 11b dargestellten magnetisch gelagerten Pumpe realisiert wird, kann die Pumpfunktion von zwei Pumpen mit nur einer einzigen magnetisch gelagerten Pumpe bzw. einem einzigen magnetisch gelagerten System und einem einzigen Motor 13 realisiert werden. Normalerweise ist der Druck des Blutes zu den Lungen hin niedriger als der zum gesamten Körper hin, wobei der Fluß in die Lungen und der Fluß in den Körper nahezu gleich sind. Aus diesem Grunde haben die Flügel 224 und 225 einen unterschiedlichen Durchmesser und der Flügel 224 hat im vorliegenden Fall einen kleineren Durchmesser als der Flügel 225.

[0058] Es sei angemerkt, daß bei den zwei Wegen bei einem äußeren Durchmesser-Abschnitt des Laufrads eine Vermischung des Flusses auftreten kann. Um diese Mischung zu vermeiden, ist eine Labyrinthdichtung vorgesehen, wie sie in 12a bis 12d veranschaulicht wird. Genauer betrachtet ist in Fig. 12a ein Vorsprung 235 zwischen der Pumpenkammer 231 und der Pumpenkammer 232 im Gehäuse vorgesehen, und eine Einbuchtung 222 ist an einem äußeren Umfangsoberflächenabschnitt der ringförmigen Scheibe 222 vorgesehen. Allerdings ist der Druck in der Pumpenkammer 232 höher als der in der Pumpenkammer 231, wie vorstehend beschrieben, und ein Spiel auf der linken Seite der Abbildung ist genauso groß wie das auf der rechten Seite der Labyrinthdichtung, die in Fig. 12a gezeigt ist. Es wirkt daher eine Flüssigkeitskraft auf das Laufrad, und zwar von der Seite des höheren Drucks zur Seite des niedrigeren Drucks, d. h. von rechts nach links in Sicht der Figur. Entsprechend wird der Stromfluß im Elektromagneten 31 vergrößert, um das Laufrad in einer feststehenden Stellung zu halten. Dadurch leckt Blut von der Seite höheren Drucks 232 zur Seite niedrigeren Drucks 231.

[0059] Es ist damit wünschenswert, die Labyrinthbildung so auszubilden wie in Fig. 12b bis 12d dargestellt. Genauer betrachtet wird beim Beispiel der Fig. 12 ein gestufter Abschnitt 227 auf der Seite niedrigeren Drucks in der runden Scheibe 222 ausgebildet, und es wird ein Vorsprung 236 im Gehäuse vorgesehen. In Fig. 12d neigt sich eine Schräge 228 zur Seite niedrigeren Drucks, ausgebildet am Äußeren der runden Scheibe 222. Eine Steigung 237, entgegengesetzt zur Steigung 228 ausgebildet, ist in dem Gehäuse ausgebildet, wodurch die Dichtfunktion und Dichteigenschaft verbessert werden kann.

[0060] In der in Fig. 12c dargestellten Labyrinthdichtung sind ferner Schrägen an einer Oberfläche der runden Scheibe 221 vorgesehen, die gegenüberliegend zum Motor 13 angeordnet ist und an einer Oberfläche einer zirkulären Scheibe 223, die gegenüberliegend zum Elektromagneten 31 angeordnet ist, ausgebildet, und zwar jeweils ergänzend zum in Fig. 12d dargestellten Beispiel, so daß die von links wirkende Flußkraft ausgeschaltet wird, und so daß der Strom des Elektromagneten nicht erhöht werden muß.

[0061] In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß bei einer Fehlfunktion einer magnetischen Lagerung, z. B. dann, wenn das Flügelrad 22 nicht schwebt, das Flügelrad 22 in Kontakt mit der Seite des Motors tritt und zwar aufgrund der Anziehungskraft der magnetischen Kopplung. Es ist daher vorgesehen, ein selbstschmierendes System, wie z. B. einen Teflonring 229 vorzusehen, der auf der Seite der runden Scheibe 222 vorgesehen ist, die zum Motor hin liegt, wodurch eine stabile Rotation sichergestellt werden kann, sogar wenn die magnetische Funktion fehlerhaft arbeitet. Der entsprechende Effekt kann bewirkt werden, wenn das Lauf-

rad oder das Gehäuse mit dem selbstschmierenden Mittel versehen sind.

[0062] Fig. 13 und 13b sind Querschnittsansichten, die ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetisch gelagerten Blutpumpe zeigen, wobei Fig. 13a eine Seitenansicht und Fig. 13b eine Querschnittsansicht darstellen, die entlang der Linie A-A aus Fig. 13a zu sehen ist. In dem in Fig. 13a und 13b dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Flüssigkeitsdruck in axialer Richtung des in Fig. 11a und 11b dargestellten Ausführungsbeispiels vermindert. Genauer betrachtet wird zur Verminderung des Flüssigkeitsdrucks in axialer Richtung ein ringförmiger Vorsprung 247 in einem äußeren Durchmesserabschnitt einer runden Scheibe 223 ausgebildet, derart, daß ein Spiel 241 in einem äußeren Durchmesserabschnitt in das Flügelrad 222 auf der Seite des höheren Drucks kleiner ist als ein Spiel 242 in dessen inneren Durchmesserabschnitt. Ergänzend wird um ein Spiel 243 an einem äußeren Durchmesserabschnitt des Flügelrads 222 auf der Seite niedrigeren Drucks kleiner als ein Spiel 243, dessen Durchmesserabschnitt auszubilden, ein vorstehendes Selbstschmiermittel 245 mit einem ringförmigen inneren Durchmesserabschnitt der runden Scheibe 221 vorgesehen. Ferner ist ein Verbindungsabschnitt 246 derart ausgebildet, daß es der Seite höheren Drucks und der Seite niedrigeren Drucks möglich ist, miteinander in Verbindung zu stehen, wobei dieser Verbindungsdurchgang 246 derart ausgebildet ist, daß er ein Passieren von Flüssigkeit zur Lunge bewirkt, wenn das Gleichgewicht des rechten und linken Herzens aufgrund der Störung eines lebenden Körpers verloren wird.

[0063] Fig. 14a und 14b zeigen Querschnitte eines weiteren Ausführungsbeispiels einer magnetisch gelagerten Blutpumpe, wobei Fig. 14a eine Seitenansicht und Fig. 14b eine Querschnittsansicht entlang der Linie A-A aus Fig. 14a darstellt. Das Laufrad wird von einem regelartigen magnetischen Lager getragen sowie durch ein nicht geregeltes magnetisches Lager, entsprechend der Ausführungsbeispiele in Fig. 11a und 11b und Fig. 13a und 13b, wogegen ein Flügelrad 222 durch zwei nicht geregelte Arten magnetischer Lager in den Ausführungsbeispielen in Fig. 14a und 14b getragen wird. Genauer betrachtet besteht das Laufrad 220 aus zwei runden Scheiben 221 und 222 und Flügeln 225 und 224, die jeweils auf den linken Seiten dieser runden Scheiben 221 und 222 angeordnet sind. Permanentmagneten 24 und 14 sind jeweils in die runde Scheibe 221 und in den Rotor 12 eingebettet, derart, daß sie entgegengesetzte Polaritäten zueinander haben. Sie bilden ein erstes, nicht geregeltes magnetisches Lager. Ein Permanentmagnet 251 ist an einem inneren Durchmesserabschnitt der runden Scheibe 222 befestigt und ein Permanentmagnet 252 ist an einem Gehäuse befestigt, derart, daß er eine Polarität hat, die entgegengesetzt zu der des Permanentmagneten 251 ist. Die Permanentmagneten 251 und 252 sind radial voneinander abstoßend gewählt, sie bilden ein zweites, nicht geregeltes, radiales magnetisches Lager.

[0064] Eine Drehpunktlagerung 253 ist auf die Mitte der ringförmigen Scheibe aufgesetzt. Sie trägt das Laufrad 220, indem sie in Kontakt mit dem Gehäuse tritt. Die Flügel 224 und 225 dienen jeweils als Pumpen für rechte und linke Herzseiten, wie auch in den Beispielen der Fig. 11a und 13a. Ein Einlaß 256 für die rechte Herzseite ist derart ausgebildet, daß er sich von einer Pumpenkammer 231 in axialer Richtung erstreckt und sich nach außen in einem rechten Winkel hin abbiegt. Ein Einlaß 257 für die linke Herzseite ist derart ausgebildet, daß er sich nach außen entlang der axialen Richtung der zentralen Achse erstreckt. Ergänzend sind zwei Flußwegrichtungen labyrinthgedichtet, jeweils durch ein Spiel 254 und 255. Bei dem vorliegenden Ausführungs-

Beispiel wird das Laufrad 220 von dem magnetischen Lager getragen, mittels der Anziehungskraft der Permanentmagneten 14 und 24 und der Abstoßung der Permanentmagneten 251 und 252. Das Laufrad 220 wird durch die Antriebskraft des Motors 13 angetrieben und Blut, das vom Einlaß 256 eintritt, wird durch die Pumpenkammer 231 von einem Auslaß 233 ausgestoßen und zwar mittels der Drehung des Flügels 224. Ergänzend wird Blut, das von Einlaß 257 her eintritt, durch die Pumpenkammer 232 über einen Auslaß 234 abgeleitet, und zwar durch Drehung des Flügels 225.

[0065] Wie vorstehend beschrieben, sind bei dem vorstehenden Ausführungsbeispiel zwei Flügel coaxial im Laufrad angeordnet, das Laufrad ist im Gehäuse durch magnetische Lagerung angeordnet und wird durch die Antriebskraft des Motors gedreht. Dadurch kann Blut von den Einlässen entsprechend der jeweiligen Flügel durch die jeweiligen Pumpenkammern zu den jeweiligen Auslässen geführt werden, was in einer Verminderung der Größe der Kosten und des Energieverbrauchs der Vorrichtung resultiert.

Patentansprüche

1. Blutpumpe mit einem von einem magnetischen Lager in einem Gehäuse (21) kontaktfrei gelagerten Flügelrad (22), das über eine magnetische Kopplung von einem drehzahlregelbaren Motor (13) angetrieben wird, wobei zur Regelung des Durchflusses oder des Auslassdruckes eine Regeleinrichtung (42) für die Motordrehzahl durch einen Prozessor-Schaltkreis (41) auf der Basis von bei unterschiedlichen Drehzahlen vorbestimmten Beziehungen zwischen Durchfluß und Motorstrom sowie zwischen Auslassdruck und Durchfluß gesteuert wird.
2. Blutpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie ferner aufweist: einen Prozessor-Schaltkreis (63) zur Korrektur des Durchflusses oder des Auslassdruckes in Abhängigkeit von der Blutviskosität, wobei die Korrektur aus einer Störsignalerwidmung des durch das magnetische Lager getragenen Flügelrades (22) ermittelt wird.
3. Blutpumpe nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sie ferner aufweist: eine Einrichtung (65) zur Erzeugung eines periodischen Störungssignales.
4. Blutpumpe nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das periodische Störungssignal eine Frequenz aufweist, bei der die Tragesteifigkeit des magnetischen Lagers des Flügelrads (22) am geringsten ist.
5. Blutpumpe nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß sie ferner aufweist: einen Bandpassfilter (64), der derart ausgelegt ist, daß er ein Störsignal durchläßt, welches zur Detektierung einer Verschiebung des Flügelrades (22) dient.
6. Blutpumpe nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozessor-Schaltkreis (63) einen Korrekturwert in Abhängigkeit von der Drehzahl addiert.
7. Blutpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Lager folgendes umfaßt: Permanentmagnete (14, 24) zur radialen Lagerung einer Seite des Flügelrades (22) und Elektromagnete (31) zur Regelung einer axialen Ausrichtung des Flügelrades (22) auf einer anderen Seite und zur Regelung zweier Richtungen, die rechtwinklig dazu sind.
8. Blutpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Lager folgendes umfaßt: ein erstes magnetisches Lager mit Permanentmagneten (14, 24) zur radialen Lagerung einer Seite des Flügel-

rades (220) und
ein zweites magnetisches Lager mit Permanentmagne-
ten (251, 252), die auf einer anderen Seite des Flügel-
rades (220) derart angeordnet sind, daß sie sich radial
gegenseitig abstoßen.

5

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

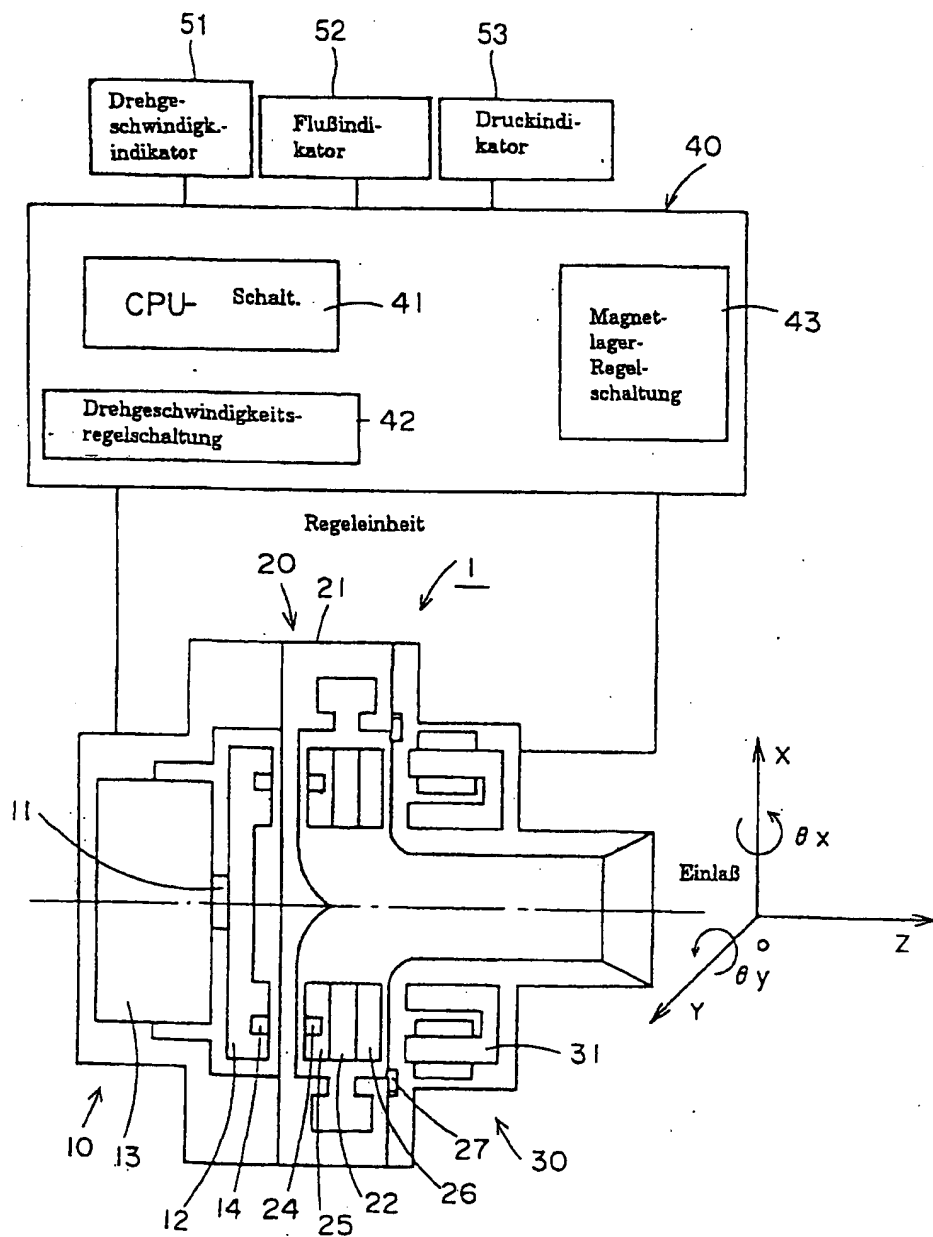


Fig. 2

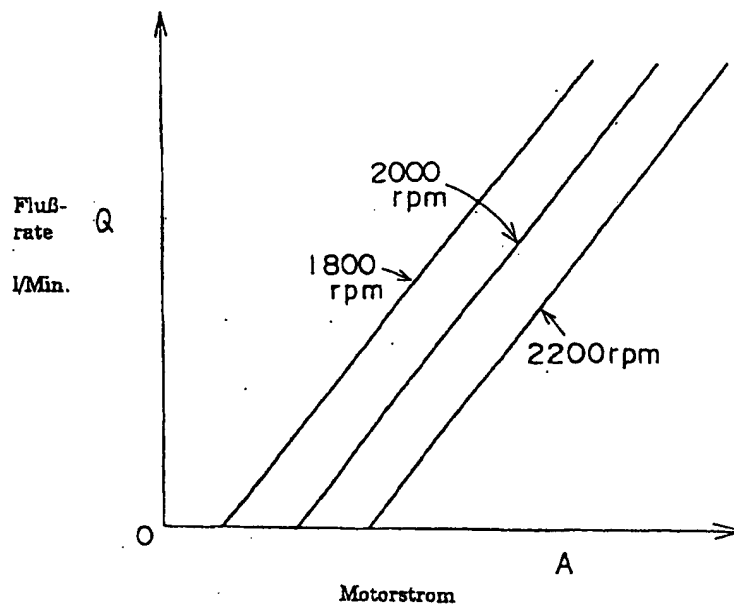


Fig. 3

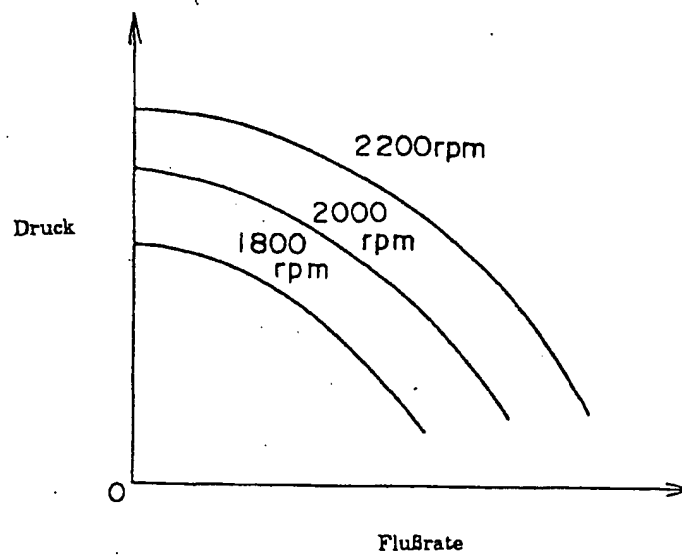


Fig. 4

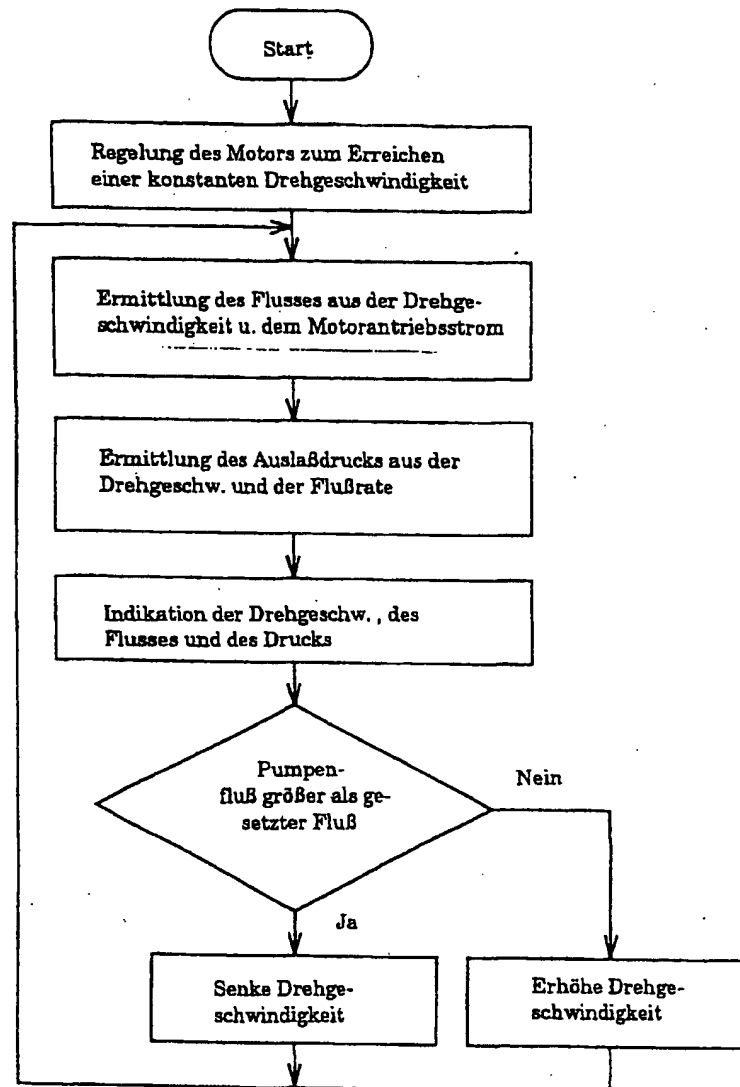


Fig. 5

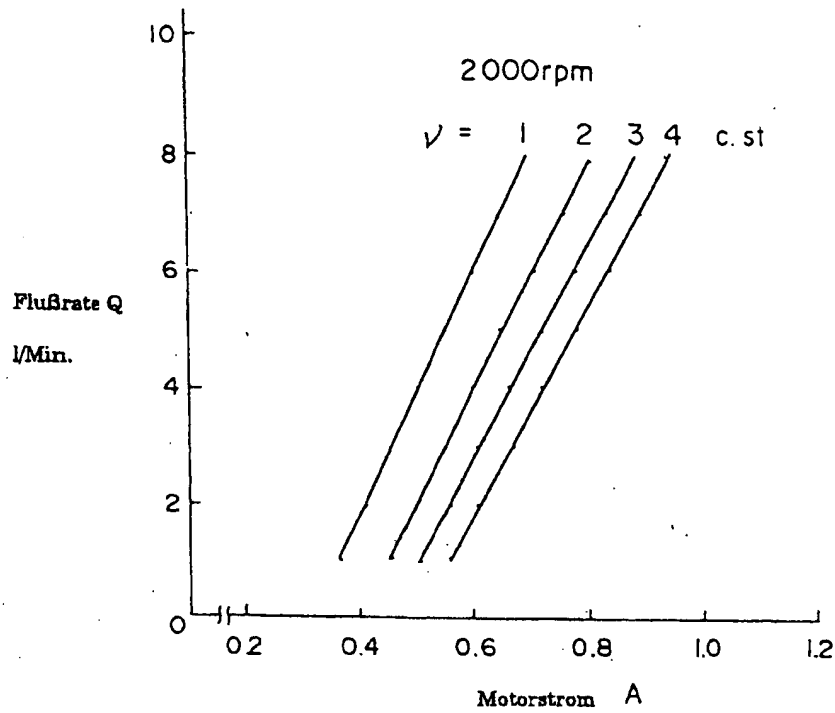


Fig. 6

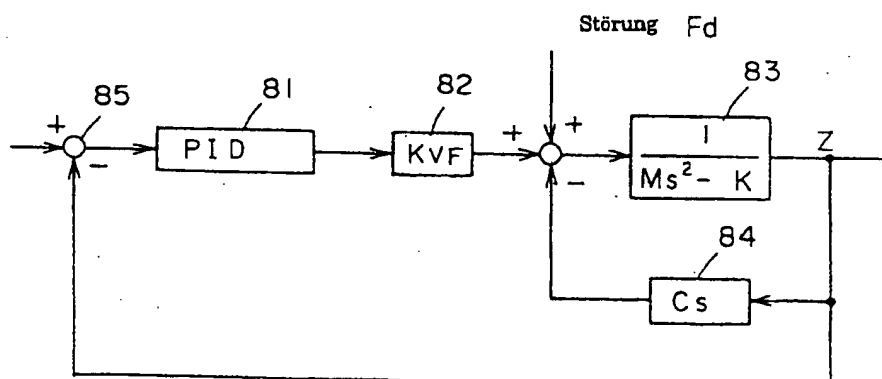


Fig. 7

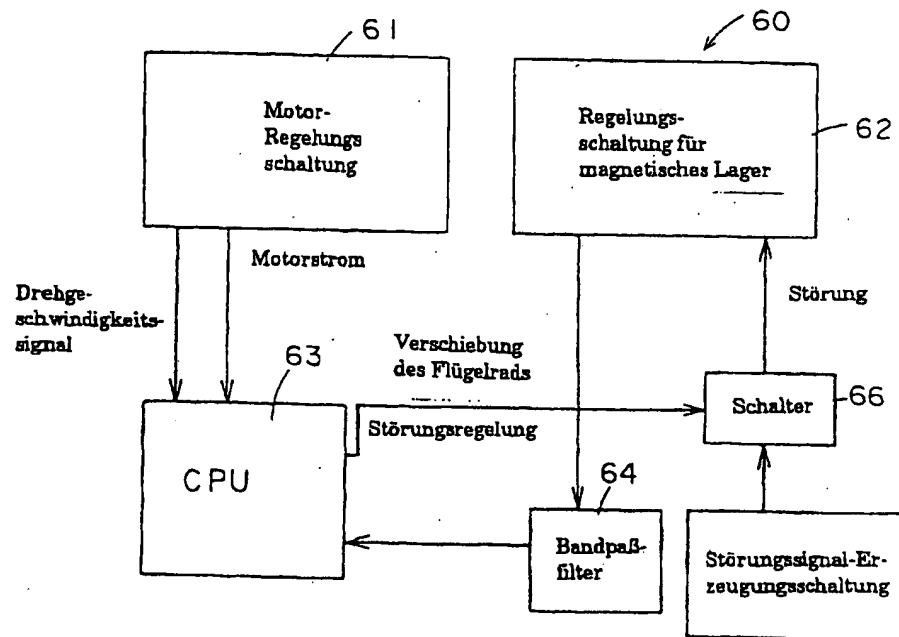


Fig. 8

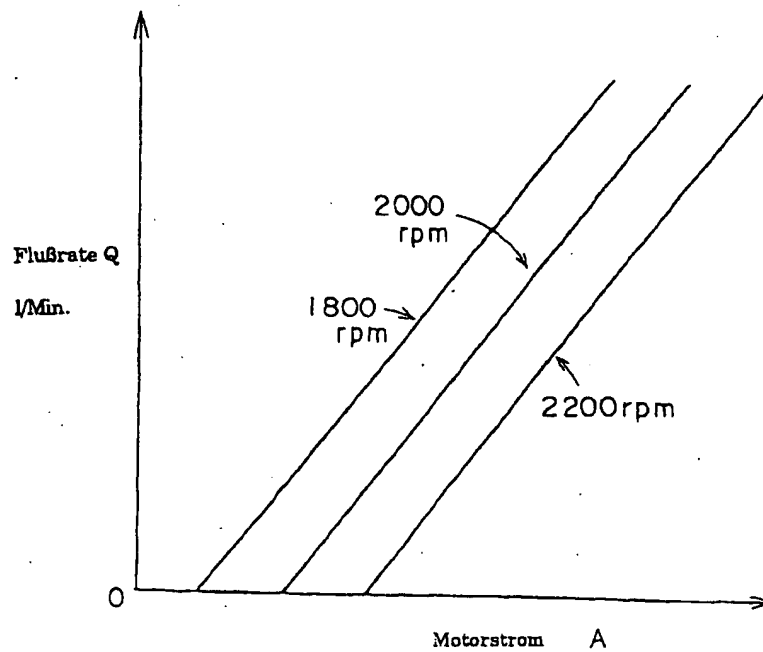


Fig. 9

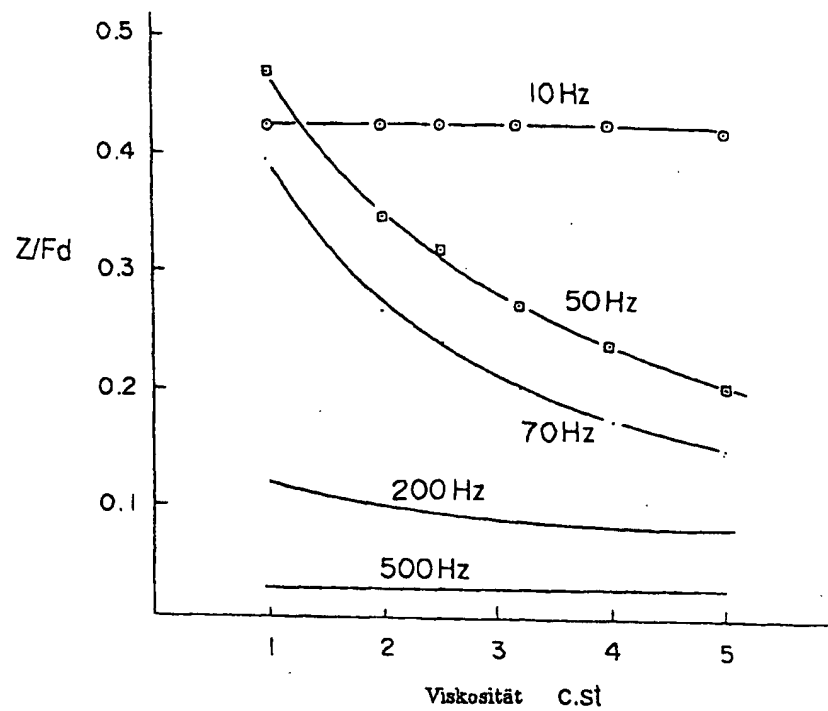


Fig. 10

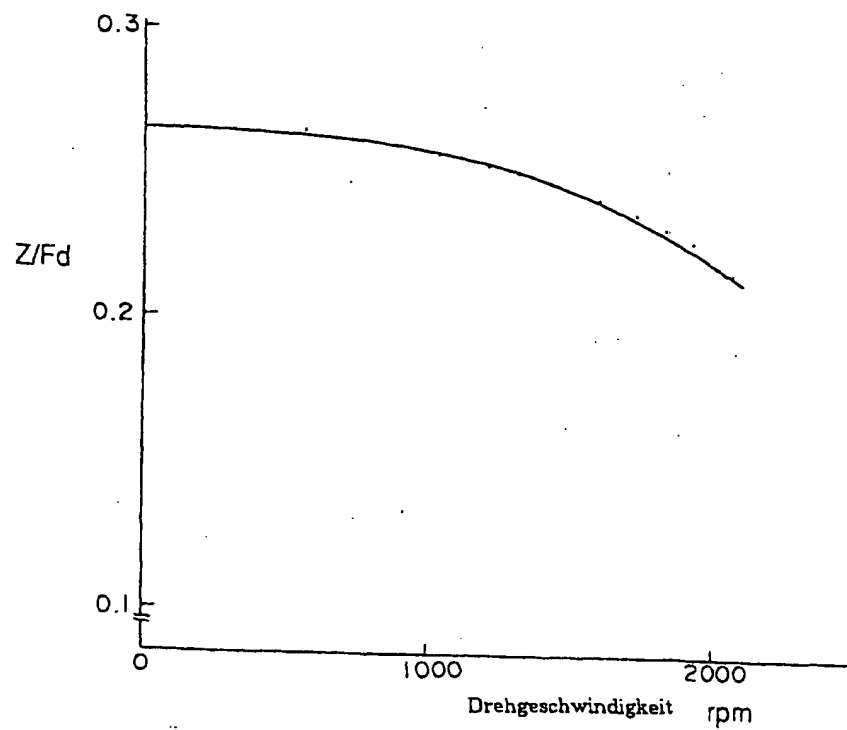


Fig. 11b

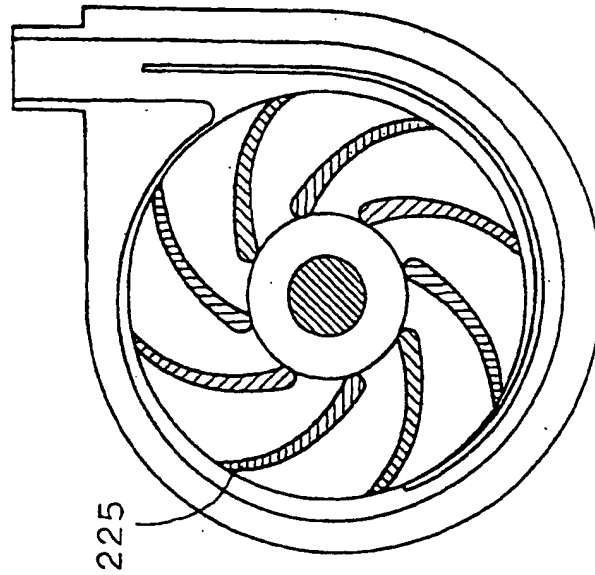


Fig. 11a

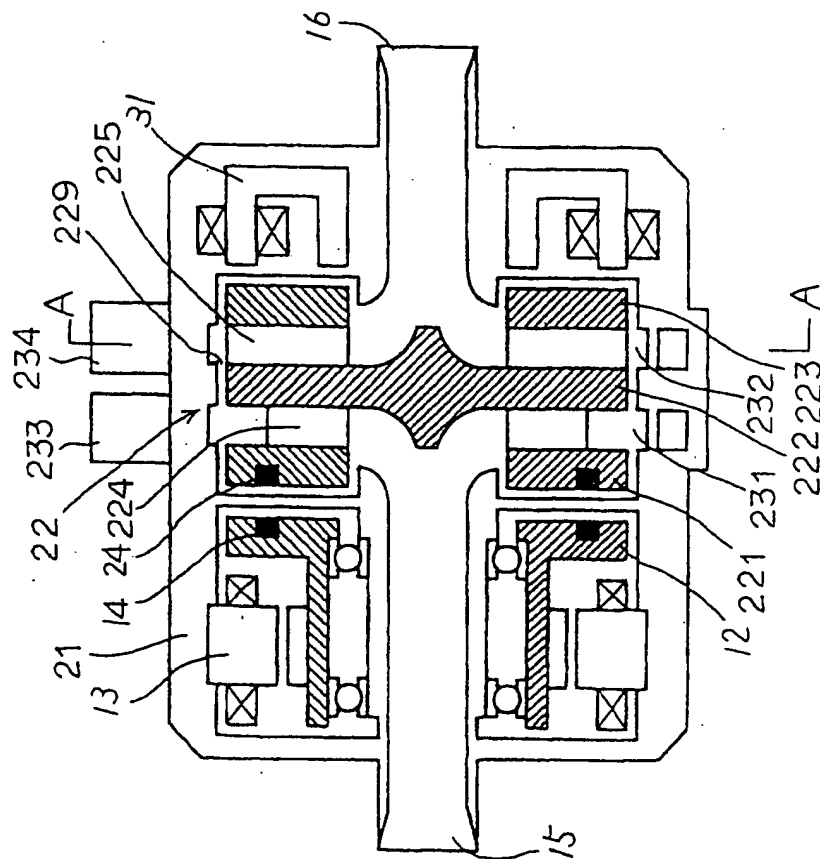


Fig. 12a

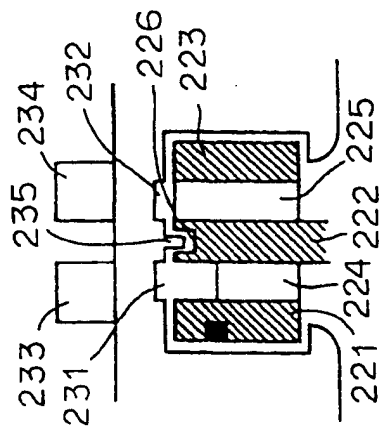


Fig. 12b

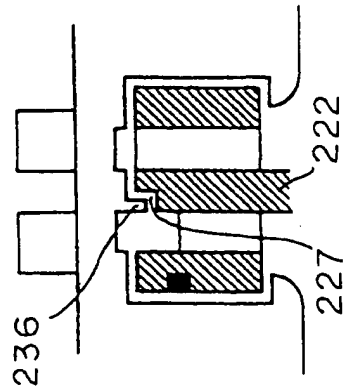


Fig. 12c

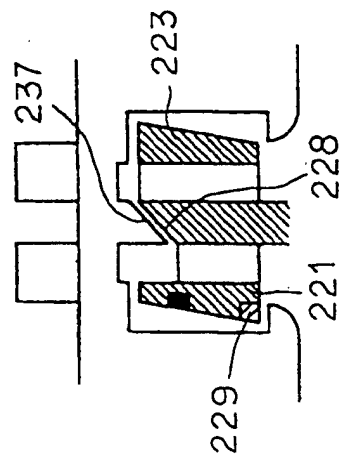


Fig. 12d

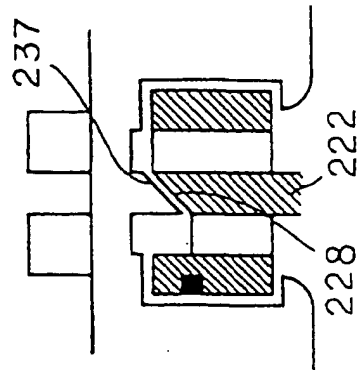


Fig. 13b

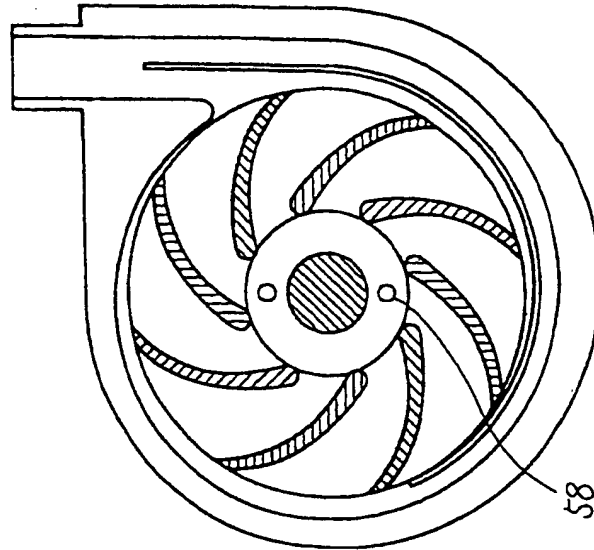


Fig. 13a

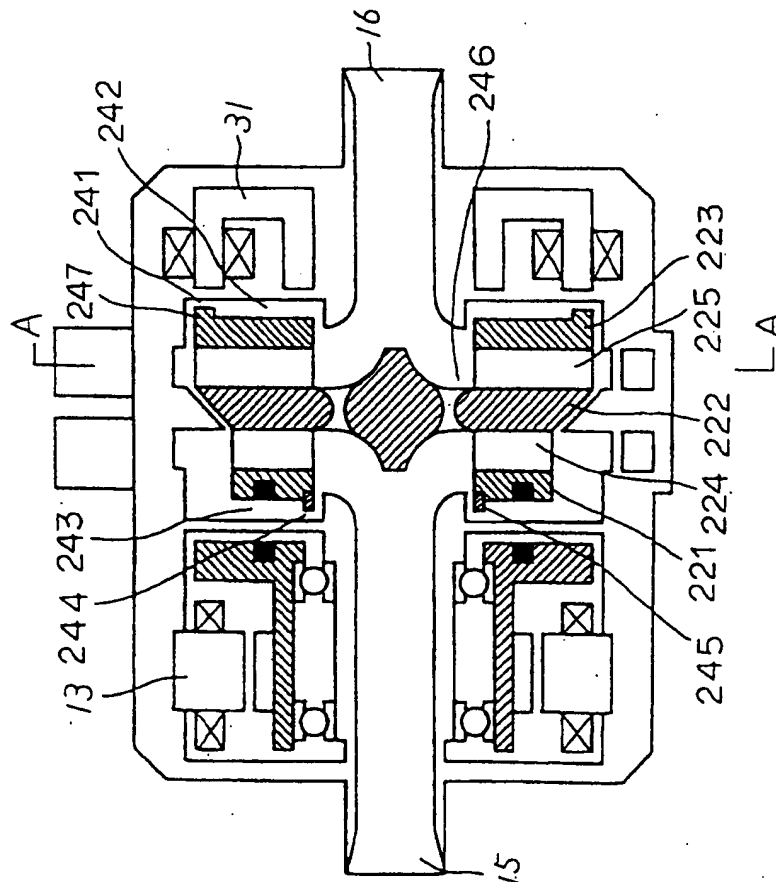


Fig. 14b

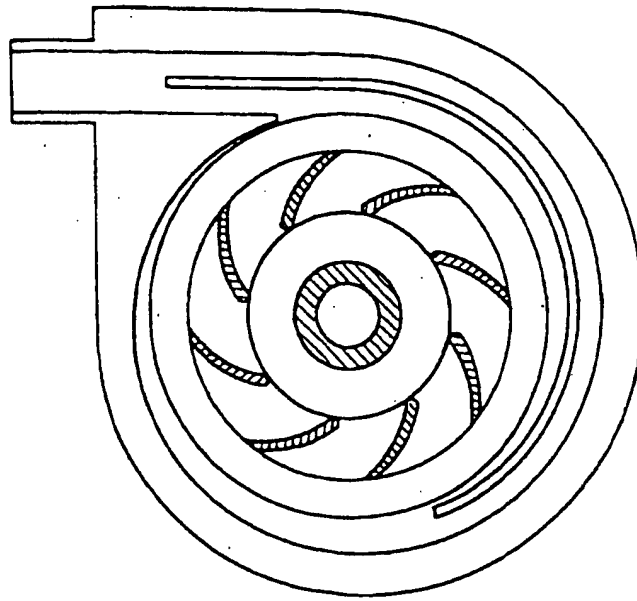
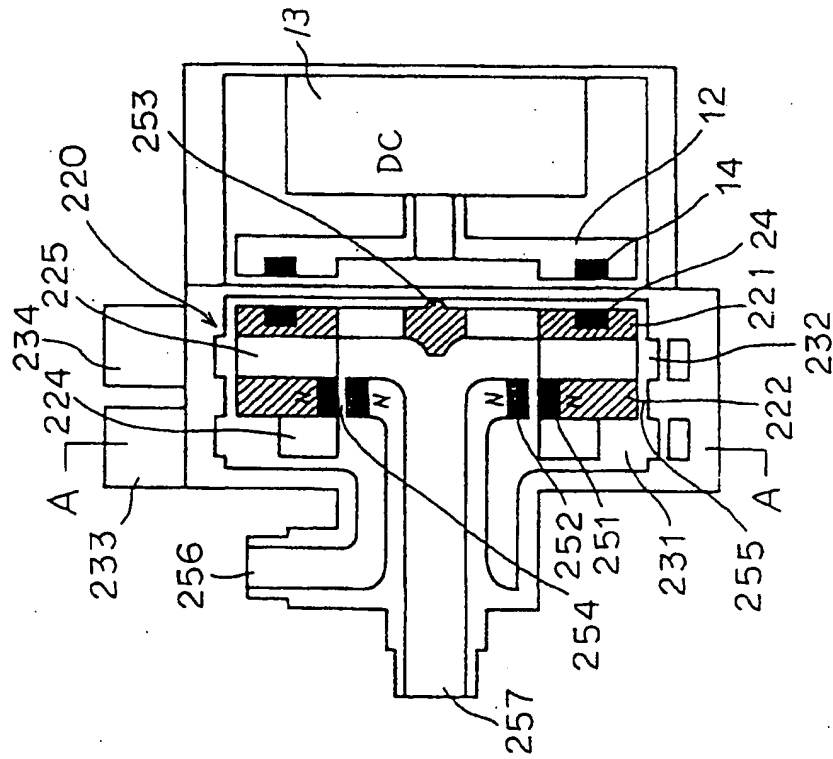


Fig. 14a



Stand der Technik

Fig. 15

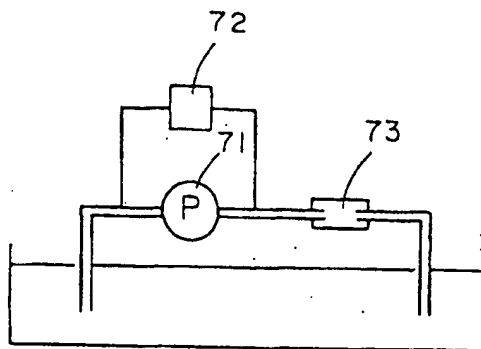


Fig. 16

Stand der Technik

